

Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica

Proposal for future Latin American seismic isolation codes

Carlos M Piscal A ⁽¹⁾, Francisco López A ²

⁽¹⁾ Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.

⁽²⁾ Profesor, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Tecnología de la
Arquitectura, Barcelona, España.

Dirección para correspondencia: cpiscal@unisalle.edu.co

TEMA B/ Sistemas de aislamiento y Disipación de Energía

Resumen

El aislamiento sísmico de base es una técnica con un uso relativamente reciente en Latinoamérica, uno de los posibles factores que ha impedido su expansión puede ser la ausencia, hasta el momento, de normas locales que rijan el análisis, diseño y construcción de este tipo de edificaciones; ya que únicamente Chile, México y Perú cuentan con una normativa propia. Tanto las normas de aislamiento sísmico hasta el momento desarrolladas como aquellas que se encuentran en marcha en Latinoamérica, tienen una gran influencia de las normativas americanas, principalmente del documento ASCE 7. El capítulo 17 de dicho documento, está orientado principalmente para el diseño de edificaciones aisladas catalogadas como indispensables y posee además elevados factores de seguridad que incrementan considerablemente los costos de implementación de esta técnica. Debido a lo anterior, en este trabajo se proponen una serie de consideraciones a discutir en la elaboración de futuras normas para la región, con el fin de ampliar el aislamiento sísmico a diferentes tipos de edificaciones y evaluar la aplicabilidad de las exigencias de las normas internacionales en mención en el contexto económico de cada País.

Palabras-clave: Aislamiento sísmico de base, ASCE 7, Latinoamérica, Normas.

Abstract

Seismic base isolation is a technique with a relatively recent use in Latin American countries; one of the possible factors that has avoided its expansion may be the lack, until now, of local regulations in each country that be able to govern the analysis, design and construction of this type of buildings; since currently only Chile, Mexico and Peru have their own codes. Both the seismic isolation standards developed up to now and those that are underway in Latin America, have a great influence of the American regulations, mainly of the document ASCE 7. Chapter 17 of that document, used for the design of essential isolated buildings, has high safety factors that increase considerably the costs of implementing of the technique; Due to aforementioned, this paper proposes a series of considerations to be discussed in the preparation of future standards for the region, in order to expand the seismic isolation to different types of buildings and evaluate the applicability of the requirements of international standards in mention in the economic context of each Country.

Keywords: Seismic base isolation, ASCE 7, Latin America, Regulations.

1. Introducción

El aislamiento sísmico de base pretende reducir las fuerzas y desplazamientos que el suelo transmite a la estructura durante el movimiento sísmico, con el objetivo de reducir los daños tanto en elementos estructurales como no estructurales y proporcionar así un mejor nivel de desempeño respecto a las edificaciones con base fija.

A nivel mundial esta técnica es bastante empleada, debido al excelente comportamiento estructural que han mostrado diversas edificaciones con aislamiento de base expuestas a sismos severos (Almazán, 2012; EERI, 2012, 2013; Nagarajaiah & Sun, 1996). Lo anterior ha conllevado a que diversos países concentren sus esfuerzos en desarrollar normativas que rijan el análisis y diseño de este tipo de edificaciones. Actualmente en Latinoamérica, Chile (NCh 2745, 2013), México (CFE, 2008) y Perú (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) cuentan con normativas para edificaciones aisladas y otros países como Ecuador y Colombia están trabajando en el tema.

Las anteriores normas hasta ahora desarrolladas, junto con las que se encuentran en proceso de elaboración tienen una gran influencia de los códigos americanos, específicamente del capítulo 17 del documento ASCE, el cual trata acerca de esta técnica. Sin embargo, dicho documento está enfocado principalmente hacia la implementación del aislamiento sísmico en edificaciones catalogadas como indispensables y posee una serie de requerimientos que pueden hacer que la técnica resulte costosa. De ahí que en este trabajo a) se propongan una serie de consideraciones a tenerse en cuenta para el desarrollo de futuras normas en Latinoamérica, las cuales pretendan

acoplarse el documento ASCE 7 y b) se presente una propuesta que permita ampliar de una manera más adecuada la implementación del aislamiento sísmico de edificaciones a diferentes grupos de uso.

2. Consideraciones para el desarrollo de futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica

El aislamiento sísmico de base tiene como objetivo de diseño reducir al mínimo el nivel de daño en las edificaciones, este objetivo diferente al de una edificación con base fija (daño, sin colapso), implica que ciertos parámetros considerados en el diseño de estas últimas estructuras, deban analizarse y ajustarse. Por otra parte, al pretender acoplar el documento ASCE 7 a las condiciones locales de los países de la región, es de suma importancia que se contemplen las relevantes diferencias técnicas y económicas existentes.

A continuación, se describen algunos de los parámetros a discutir:

2.1 Amortiguamiento

La concentración de deformaciones a nivel de la interfaz de aislamiento, permite incorporar a todo el sistema un incremento en el amortiguamiento, el cual debe ser considerado para la reducción de los desplazamientos que éste induce, bien sea a través de factores o expresiones que modifiquen los espectros o las ecuaciones empleadas para el diseño de estructuras con aislamiento sísmico de base (Piscal A & Lopez Almansa, 2018).

2.2 Coeficiente de importancia

Un coeficiente de importancia único para cualquier estructura aislada, implica un mismo nivel de desempeño sísmico esperado, sin importar el uso de la edificación. Esta consideración, orienta la implementación de esta técnica hacia cierto tipo de edificaciones y por otra parte difiere de la filosofía empleada en el diseño de estructuras con base fija.

2.3 Desempeño sísmico

El desempeño sísmico de las edificaciones con aislamiento de base, de acuerdo con la mayoría de normativas internacionales, debe ser más alto que el de una edificación con base fija. Ciertos códigos permiten un denominado aislamiento sísmico parcial, con unas consideraciones de daño que varían entre las esperadas para una edificación con aislamiento sísmico total y una con base fija.

2.4 Requisitos de detallamiento estructural y coeficiente R asociado

El nivel de desempeño esperado en edificaciones con aislamiento de base debería ser coherente con los requisitos de detallamiento estructural exigidos, sin embargo, en el documento ASCE se plantea que toda edificación aislada debe tener el mismo detallamiento estructural que una con base fija, con algunas excepciones. Por otra parte, el coeficiente asociado a la reducción de las fuerzas elásticas de diseño debe ser considerado cercano a la unidad.

2.5 Deriva

Los valores límite de deriva estipulados para edificaciones con base fija son coherentes con el nivel de desempeño (*Seguridad a la vida*) y daño aceptado en este tipo de edificaciones, por lo cual los límites establecidos tradicionalmente en las normativas deben ajustarse en el caso de estructuras con aislamiento sísmico de base

3. Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico desarrolladas en Latinoamérica

3.1 Amortiguamiento

No es apropiado el empleo directo de factores estimados en otros países (ASCE 7), usados para representar el efecto del amortiguamiento sobre las estructuras aisladas de la región, ya que como se evidencia en una cantidad importante de investigaciones (Bommer & Mendis, 2005; Cameron & Green, 2007; Cardone, Dolce, & Rivelli, 2009; Hatzigeorgiou, 2010; Lin & Chang, 2004; Lin, Miranda, & Chang, 2005) este parámetro depende de las características de la amenaza local. En países donde la amenaza local no pueda ser representada adecuadamente mediante registros reales, se propone el empleo de registros artificiales para la estimación del factor en mención (Piscal A & Lopez Almansa, 2018)

3.2 Coeficiente de importancia

Se propone conservar el mismo factor de importancia que se emplea en estructuras con base fija, esto con el objetivo de diferenciar el nivel de desempeño exigido a una edificación aislada en función de su uso, lo cual permitiría expandir la aplicación de la técnica hacia estructuras diferentes a las indispensables o de atención a la comunidad.

3.3 Desempeño sísmico

El desempeño sísmico de una edificación aislada, indudablemente deber ser más alto que el de una edificación con base fija, sin embargo, en este trabajo se propone que no toda estructura aislada tenga el mismo nivel de desempeño, sino que en función del uso de la misma esta técnica represente un nivel más alto respecto al desempeño esperado con base fija. Considerar un solo nivel de desempeño para toda estructura aislada, teniendo como punto de referencia las estructuras esenciales, implica altas exigencias técnicas y económicas y a lo mejor un nivel de desempeño no requerido en aquellas edificaciones no esenciales para la comunidad.

3.4 Requisitos de detallamiento estructural y coeficiente R asociado

Teniendo en cuenta que el nivel de desempeño esperado para este tipo de edificaciones es más alto que el exigido para edificaciones con base fija, el nivel de detallamiento estructural debería ser menos exigente ya que se espera una menor incursión en el rango no lineal en el caso de estructuras aisladas. Se propone reducir un nivel de detallamiento estructural el requerido en edificaciones aisladas con respecto al empleado en edificaciones con base fija, eso sí brindando siempre al menos un nivel de detallamiento mínimo (DMI), como una medida de seguridad adicional. Para definir el coeficiente R a emplear (valores entre 1 y 2), además de los requisitos estipulados en ASCE ($1 \leq 3R/8 \leq 2$) (ASCE 7-16, 2016) se debe tener claro si se permitirá una leve incursión en el rango inelástico o se pretenderá un comportamiento bastante cercano al elástico.

3.5 Deriva

Los límites de deriva deben ser más exigentes que en estructuras con base fija, para un sismo de diseño con periodo de retorno de 475 años, éstas deberían estar alrededor del 0.5% de la altura de entrepiso (Piscal-Arévalo & López-Almansa, 2018).

4. Ejemplo numérico de la anterior propuesta aplicada a Colombia

Para ilustrar todo lo anteriormente discutido en este trabajo, se pone como ejemplo una edificación de pórticos estructurales con 4 pisos, cimentada en un suelo tipo B y con un peso sísmico de 2800 kN. La estructura está ubicada en Bucaramanga; por ser una zona de amenaza sísmica alta, el nivel de detallado es especial (DES). Se consideran dos opciones: estructura con base fija y aislada en su base; en ambas se calcula el cortante de diseño por FHE. En la estructura de base fija se utiliza NSR-10 y en la aislada se aplican ASCE7-10, ASCE 7-16 y la propuesta aquí planteada. Se supone, simplíficamente, que el peso sísmico es igual para la estructura aislada y de base fija. Se considera un sistema de aislamiento formado por aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRBs) tipo X0.3R (Bridgestone Corporation, 2013),

cuya variación de propiedades debida a la temperatura ambiental, la edad y la fabricación se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. % de variación de las propiedades de los aisladores

Propiedad	Rigidez equivalente	Amortiguamiento equivalente
Fabricación	± 10	± 10
Edad	+10	+10
Var. temp. ambiental $20^\circ \pm 20^\circ$	+14 -9	+5 -9
Total	+34 -19	-15 +1

Se consideran los dos usos extremos para la edificación, es decir grupos de uso I y IV. Los resultados obtenidos para cada uso analizado, junto a los parámetros empleados para su cálculo, se muestran en la Tabla 2 y la Tabla 3 respectivamente. En el caso de ASCE 7-16 y de la propuesta aquí planteada, se reportan los máximos obtenidos del uso de los límites superiores e inferiores de las propiedades. Para considerar el cambio de las propiedades efectivas debido a los mayores desplazamientos obtenidos bajo el sismo con $T_R = 2475$ años, se redujo la rigidez efectiva en un 10%.

Tabla 2. Parámetros de diseño obtenidos en edificaciones de grupo de uso I

Parámetro	Base fija	Estructura aislada		
		ASCE 7-10	ASCE 7-16	Propuesta
R	7	2	2	2
I	1	1	1	1
D_{sa} (m)	-	0.155	0.218	0.123
V_s (kN)	1750	321	345	247
$V_{s,DISEÑO}$ (kN)	250	160	172	124

Tabla 3. Parámetros de diseño obtenidos en edificaciones de grupo de uso IV

Parámetro	Base fija	Estructura aislada		
		ASCE 7-10	ASCE 7-16	Propuesta
R	7	2	2	2
I	1.5	1	1	1.5
D_{sa} (m)	-	0.155	0.218	0.191
V_s (kN)	2626	321	345	333
$V_{s,DISEÑO}$ (kN)	375	160	172	166

En la Tabla 2 y la Tabla 3, D_{sa} es el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento (corresponde a D_M en los documentos ASCE 7), V_s es el cortante elástico (para $R = 1$) y $V_{s,DISEÑO}$ es el cortante de diseño (V_s / R).

Se evidencia que en la estructura aislada hay una reducción considerable del cortante elástico, cerca de un 85% respecto al de la edificación con base fija; sin embargo el cortante de diseño presenta una reducción mucho menor. Esto quiere decir que la principal ventaja del aislamiento sísmico es lograr una reducción considerable de las fuerzas elásticas (V_s) que experimentaría la estructura, con lo cual se pueden emplear fuerzas de diseño muy cercanas a éstas, que implican un comportamiento estructural más cercano al elástico que al inelástico. Lo anterior se traduce en menos daños y un mejor nivel de desempeño.

En la Tabla 2 y la Tabla 3 se observa que el cortante de diseño obtenido con ASCE 7-16 es mayor que el obtenido con ASCE 7-10 en aproximadamente un 7%. Para el grupo de uso I, la propuesta aquí planteada obtiene un cortante de diseño inferior a las dos versiones de ASCE 7, debido al sismo de diseño considerado ($T_R = 475$ años) y a la aplicación de una ecuación para la estimación de los desplazamientos propuesta por los autores en trabajos previos (Piscal-Arévalo & López-Almansa, 2018) en lugar de la ecuación contenida en ASCE 7. Para el grupo de uso IV, la propuesta aquí planteada obtiene un cortante de diseño mayor que el de ASCE 7-10, debido al sismo considerado ($T_R = 2475$ años); pero menor que el de ASCE 7-16, debido nuevamente a la aplicación de la ecuación propuesta por los autores de este trabajo.

Los cortantes de diseño obtenidos con la propuesta aquí planteada confirman que la aplicación directa de los documentos ASCE 7 pueden causar sobrecostos en ciertos casos, como en estructuras del grupo de uso I, donde con el cortante de diseño de la propuesta es posible brindar un nivel de desempeño considerado suficiente para este tipo de edificaciones. En el caso de estructuras del grupo de uso IV, la aplicación de ASCE 7-10 resultaría en fuerzas de diseño inferiores a las que se deberían considerar para edificaciones de este tipo.

5. Conclusiones

La aplicación directa de la normativa americana ASCE en el diseño de edificaciones con aislamiento sísmico en Latinoamérica genera una serie de inconsistencias técnicas. Esta incompatibilidad puede generar sobrecostos y, en cierto tipo de edificaciones, conducir a parámetros de diseño inferiores a los requeridos.

La propuesta presentada en este trabajo para edificios con aislamiento de base, establece una metodología clara de análisis y puede promover de una mejor manera en la región esta importante técnica constructiva.

Este trabajo pone de manifiesto la necesidad de estudiar las condiciones locales para poder generar una norma de aislamiento sísmico adaptada totalmente a las condiciones económicas y técnicas de los países de la Región. De ahí que se resalte el hecho de requerir estudios adicionales que complementen la propuesta aquí presentada, en temas como: el factor R , el nivel de detallamiento estructural, el comportamiento de los elementos no estructurales, el posible impacto del sistema de aislamiento, entre otros. Vale la pena resaltar que investigaciones en estos temas se están llevando a cabo en la Universidad de La Salle en Bogotá-Colombia.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha recibido ayuda del Gobierno español (Ministerio de Ciencia y Tecnología), proyectos BIA2014-60093-R y CGL2015-6591 La estancia de C. Piscal en Barcelona fue financiada por Colciencias, convocatoria 617 y la Universidad de La Salle. Estos apoyos son reconocidos con gratitud.

7. Referencias

Almazán, J. (2012). **"Comportamiento de estructuras antisísmicas durante el terremoto del maule y su posible efecto en las normas de diseño sísmico en Chile"**. Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural, 7(2&3), 4–28.

ASCE 7-16. (2016). American Society of Civil Engineers Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. **"ASCE standard 7-16"**.

Bommer, J. J., & Mendis, R. (2005). **"Scaling of spectral displacement ordinates with damping ratios. Earthquake Engineering & Structural Dynamics"**, 34(2), 145–165.

Bridgestone Corporation. (2013). **"Seismic isolation product line-up"**. Construction Materials Sales & Marketing Department.

Cameron, W. I., & Green, R. A. (2007). **"Damping Correction Factors for Horizontal Ground-Motion Response Spectra"**. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(3), 934–960. <https://doi.org/10.1785/0120060034>

Cardone, D., Dolce, M., & Rivelli, M. (2009). **"Evaluation of reduction factors for high-damping design response spectra. Bulletin of Earthquake Engineering,"** 7(1), 273–291.

CFE. (2008). **"Manual de diseño de obras civiles: Diseño por sismo. Comisión Federal de Electricidad-CFE México"**.

EERI. (2012). **"Earthquake engineering research institute Performance of Engineered Structures in the Mw 9.0 Tohoku, Japan, Earthquake of March 11, 2011 (Learning from Earthquakes)"**. Special Earthquake Report.

EERI. (2013). **"Earthquake engineering research institute The Mw 6.6 Earthquake of April 20, 2013 in Lushan, China (Learning from Earthquakes No. Special Earthquake Report)"**. Special Earthquake Report.

Hatzigeorgiou, G. D. (2010). **"Damping modification factors for SDOF systems subjected to near-fault, far-fault and artificial earthquakes. Earthquake Engineering & Structural Dynamics"**, 39(11), 1239–1258.

Lin, Y.-Y., & Chang, K.-C. (2004). **"Effects of site classes on damping reduction factors"**. Journal of Structural Engineering, 130(11), 1667–1675.

Lin, Y.-Y., Miranda, E., & Chang, K.-C. (2005). **"Evaluation of damping reduction factors for estimating elastic response of structures with high damping"**. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 34(11), 1427.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. **"Resolución Ministerial N° 430-2018-VIVIENDA"**, Pub. L. No. 430 (2018).

Nagarajaiah, S., & Sun, X. (1996). **"Seismic performance of base isolated buildings in the 1994 Northridge earthquake"**. En Proc. 11th WCEE. Paper. 11 World Conference on Earthquake Engineering.

NCh 2745. (2013). **"Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica"**. Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Sísmica. Instituto Nacional de Normalización.

Piscal A, C. M., & Lopez Almansa, F. (2018). **"Generating damping modification factors after artificial inputs in scenarios of local records scarcity"**. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(11), 5371–5396.

Piscal-Arévalo, C. M., & López-Almansa, F. (2018). **"Propuesta para la futura norma de aislamiento sísmico de edificaciones en Colombia"**. DYNA, 85(207), 306–315.